

屋外環境下におけるゴルフスイング自動診断のための 画像特徴抽出

Image Feature Extraction for Automatic Outdoor Golf-Swing Diagnosis

望月智則 †, 植田勝彦 ‡, 白井良明 †, 島田伸敬 †

Tomonori MOCHIZUKI† Masahiko UEDA‡ Yoshiaki SHIRAI† and Nobutaka SHIMADA †

†:立命館大学, mochizuki@i.ci.ritsumei.ac.jp { shirai, shimada } @ci.ritsumei.ac.jp

‡: S R I 研究開発株式会社

概要 ゴルフスイングの自動診断システムを屋外環境下で運用するために必要な画像処理技術の開発を目指す。特に、スイング診断の際に重要視される人体の輪郭線形状を、背景や照明条件に対してロバストに抽出する処理について述べ、その有効性を示す。

1 はじめに

インストラクターがいなくても手軽にゴルフスイングの診断を受けられる「ダンロップ スイング自動診断システム」[1] [2] が運用されている。これは、2台のTVカメラを用いて撮影したユーザのスイング画像から、画像処理技術を用いて診断に必要な特徴を取得し、それらを独自の診断アルゴリズムによって判定・診断するシステムである。従来のように時間的・金銭的制約の多いインストラクター直接指導に比べ、短時間・低料金で利用可能である点がユーザにとってメリットとなる。

このシステムは現在、画像処理アルゴリズムの都合上、照明条件や背景条件が一定である屋内環境下においてのみ運用可能となっており、屋外環境下において本システムを設置・運営することは難しい状況にある。しかし、屋内ではボールを遠くに飛ばすことが不可能であるため、実際にゴルフ場でボールを打つのに比べて臨場感に乏しくなるという問題点がある。このため、屋外ゴルフ練習場などに設置可能なシステムの開発が求められている。

筆者らは、屋外環境下で既存のシステムを運用した際に生じる問題への対処として、色+形状判定によるマーク検出処理や診断に必要な関節位置取得アルゴリズムの変更等を加え、一定の天候条件下での屋外診断を可能にした [3]。しかし、依然として背景

や照明条件が不安定な屋外環境下では人体のシルエット形状が正しく得られない等の問題が残るため、運用に耐え得る精度での診断は難しい状況にある。本論文では、屋外環境下でもスイング診断に必要な画像特徴、とりわけ人体の輪郭線情報を得るために必要な処理について述べる。

2 スイング診断システムの概略

システムのハード構成を図1に示す。



図 1: スイング診断システムのハード構成

スイング画像はユーザの正面、側面の2方向から60fpsで撮影される。撮影の際には、2台のカメラと

同方向からユーザに照明を投射する．診断に使われるのは，正面・側面ともにインパクト（ボールが打たれた瞬間）より前の画像 150 枚，インパクト以後の 30 枚の計 180 枚である．インパクト時の検出は別途，ボールの軌道を計測する装置で行われる．

現システムでは，姿勢計測の簡単化のため，診断を受けるユーザは肩や腕，腰にカラーマークのついた独自の診断服を着，ゴルフクラブにも等間隔に 3 つのカラーマークを付ける．

システムは撮影された正面・側面各 180 枚の画像から，それぞれ 12 枚の画像をゴルフクラブや腕の傾き情報を基に抽出する．これらの画像（以下，チェック画像）はゴルフクラブや腕の傾きがほぼ水平になったときなどの特徴的な画像を抜き出したもので，これらチェック画像から得た関節位置情報などが診断材料として用いられる．続いてシステムは計 24 枚のチェック画像それぞれから診断に必要な特徴を得，最後にそれらをインストラクターの知見に基づいて構成された診断アルゴリズムを用いて評価し，スイングの点数，長所・短所，ユーザに見合った練習メニューを提示する．

3 屋外環境下で発生する問題点

第 1 節でも述べたように，筆者らは屋外環境下においてより精確に診断に必要な特徴を抽出できるよう，画像処理アルゴリズムに改良を加えた．紙面の都合上，簡潔な説明にとどめるが，円形マークの位置を不安定な照明条件下でも求めるための色抽出＋円形状フィルタリングによるマーク位置抽出処理や，影が落ちたために足元のシルエットが不鮮明になった場合でも足先点がある程度精確に抽出できるようなアルゴリズムの変更などを施した．その結果，図 2 に示すような，背景や天候の条件に恵まれて人体シルエット形状が比較的正しく得られる場合には診断が行えるようになった．

しかし，屋外では天候や背景の変化が発生することがしばしばあり，図 2 のように正しいシルエット形状が得られるケースは稀である．図 3 は，背景撮影～スイング撮影までの僅かな時間に天候が変化し，画面奥の芝生部分の明るさが大きく変化したために，背景差分法では正しい人体シルエット形状が得られなくなってしまった例である．このような場合には，体軸の傾きや膝位置を抽出するのに必要な人体輪郭

線形状が正しく得られないために，精確な診断が行えない．



図 2: 屋外でも理想的なシルエットが得られる例



図 3: 背景の明るさ変化によるシルエット抽出失敗例

物体の輪郭線を抽出するアルゴリズムとしては Kass らによる Snakes 法 [4] が広く用いられているが，この手法をそのまま本問題に適用させても，服と背景の色が似ているためにエッジが明確に得られない部位や，強い影の落ちた足元の輪郭情報を正しく得ることは難しい．

図 4 に Snakes 法で人体輪郭を得ようとした例を示す．図 4 左が初期輪郭，図 4 右が収束結果である．診断服とズボンの境界部分や足元の輪郭が正しく得られていないことが分かる．

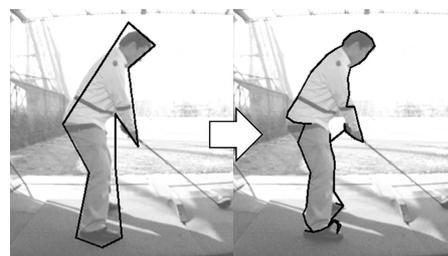


図 4: snakes 法による人体輪郭抽出例

4 曲線当てはめによる輪郭線抽出

第 3 節で述べたような場合でも診断に必要な人体輪郭線情報を得るために，我々は，低次のパラメー

タ曲線を背景差分値やエッジ情報を基に変形させて実際の輪郭線形状にフィットさせる手法を提案する。

4.1 提案手法の概略

輪郭線抽出処理の流れについて説明する。

まず、人体輪郭形状を抽出する対象は、側面チェック画像のうち、アドレス時（クラブを構えた時点）、トップ時（クラブを振りかぶった時点）、インパクト時（ボールを打った時点）の3つである。この3時点での輪郭情報が診断の際に特に重要となる。また、診断に必要となるのは、背中への傾きや膝位置を抽出するための背中輪郭や脚輪郭のみであるため、それらの部位における輪郭のみを抽出する。アドレス時・インパクト時には背中と右脚の輪郭を、トップ時には右脚後部と左足前部の輪郭を抽出する。図5(a), 5(b), 5(c)にそれぞれアドレス時、トップ時、インパクト時において求めるべき輪郭線を太線で示す。



(a) アドレス時 (b) トップ時 (c) インパクト時

図 5: 抽出すべき輪郭線

本手法では、まず、診断服に付けられたベルトの端点などの、実際の人体輪郭線上で比較的取得容易な特徴点を得、それらの点を結んだ低次のベジェ曲線を作成する。次に、これらの曲線を身体部位毎の形状特性を活かして変形させ、大まかな初期形状を設定する。最後に、各曲線を初期形状から最適形状（輪郭としての評価が最も高くなる形状）へと収束させる。なお、曲線の変形はベジェ曲線の各制御点を動かすことで行うが、曲線の両端点は固定点として扱うため動かさない。曲線の評価値は曲線上のエッジ強度と曲線前後領域の背景差分値を基に計算する。各処理の詳細は次節以降に述べる。

4.2 輪郭線上特徴点の抽出

人体輪郭線上での特徴点抽出について述べる。抽出するのは診断服ベルト両端点、後首点（アドレス・

インパクト時のみ）、踵点（アドレス・トップ時のみ）、右脚と足下に敷かれたマットの交差点（アドレス・インパクト時のみ）である。

紙面の都合上、診断服ベルト両端点の求め方のみ具体的に述べる。ベルト領域は、色抽出のみでもおおよそ抽出できるが、照明条件が不安定な屋外環境下ではベルト両端点付近の色味が不安定になるケースがあるため、より正確なベルト端点を抽出するために図6に示すようなベルト端点抽出フィルタを用いる。これは画像中のベルト幅がほぼ固定値として扱えることを利用したフィルタで、図6内の+で示すベルト端形状領域にプラスの重みを与え、-で示すベルト端形状周辺領域にマイナスの重みを与える円形フィルタである。このフィルタを、色抽出のみで得たベルト領域の慣性主軸角を用いて回転させ、ベルト領域の端点周辺でベルト色類似分布に畳み込み、最も値の高くなる画素をベルト端点として抽出する。（図7）

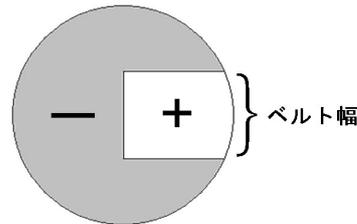


図 6: ベルト端点抽出フィルタ

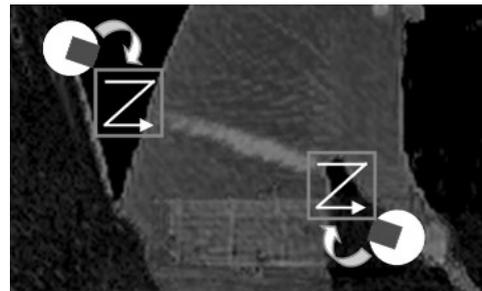


図 7: ベルト端点抽出フィルタの畳み込み

他、後首点や踵点、脚-マット交差点は背景差分値やエッジ、色抽出などを組み合わせた手法で抽出している。

図8(a), 8(b)にアドレス時上半身・下半身の輪郭線上特徴点抽出結果を示す。前首点や爪先点も求めているが、これらの点は曲線当てはめによる輪郭線抽出処理には用いない。

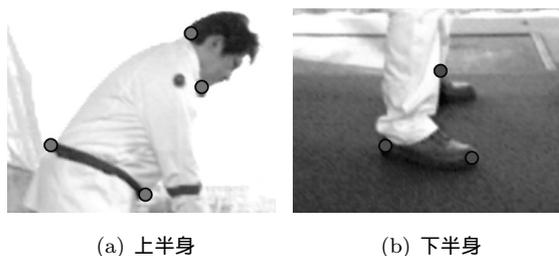


図 8: アドレス時の輪郭線上特徴点取得結果例

4.3 初期曲線形状の設定

4.2 で求めた輪郭線上特徴点を結んだ曲線を適宜作成し、実際の輪郭線にフィットさせていくのだが、4.4 で述べる収束処理のアルゴリズム上、なるべく正解に近い形状を初期曲線形状として与えておくことが望ましい。本手法では、スイング中の人体がとり得る姿勢がある程度限定されるという特性を活かして、背中や脚などの部位毎に見合った初期形状を設定する。

アドレス時とインパクト時の背中輪郭に当てはめる曲線の初期形状を設定する方法について述べる。まず、後首点と診断服ベルト端点（背中側）を結んだベジェ曲線を作成し、制御点を等間隔に配置する。そして、端点以外の制御点を後首点～ベルト端点を結ぶ直線に対して直角な方向に同時に動かしながら、4.5 で述べる方法で曲線の輪郭としての妥当性（評価値）を調べていき、最も評価値の高くなる時点の輪郭形状を初期曲線形状として与える（図 9）



図 9: アドレス・インパクト時の初期背中輪郭設定法

また、アドレス時の脚部分に当てはめる曲線の初期形状は「脚が軽く曲がった状態」を端点間の距離や角度に応じて求めて設定しており、トップ時の脚部分に当てはめる曲線の初期形状は、アドレス時の脚輪郭当てはめ結果を、アドレス時～トップ時の間に存在するチェック画像 3 つを介して形状を少しずつ変形させたものを用いている。アドレス時～トップ時の間のチェック画像を C1, C2, C3 とすると、アド

レス時の脚輪郭当てはめ結果を C1 の脚部曲線の初期形状として端点間の距離と角度に応じて変形させて適用し、C1 における脚輪郭当てはめ結果を同様に C2 の脚部曲線初期形状に……という流れで曲線形状を少しずつ変化させている。トップ時の脚部曲線の初期形状は C3 の脚輪郭当てはめ結果から生成される（図 10）

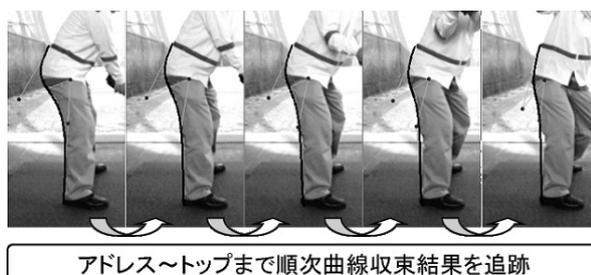


図 10: アドレス～トップでの右脚後部曲線形状の追跡

インパクト時の右脚前部輪郭に当てはめる曲線の初期形状は、診断服ベルト点（腹側）と脚-マット交差点を結んだ直線状に等間隔にベジェ曲線の制御点を配置したものである。

4.4 最適化処理による輪郭線の収束

各曲線を、4.3 で求めた初期形状から最適形状へと収束させる処理について述べる。

n 次のベジェ曲線の場合、曲線形状は、(n+1) 個の制御点座標ベクトル $\mathbf{x} = \{x_1, y_1, x_2, y_2, \dots, x_{n+1}, y_{n+1}\}$ によって表現することができる。x で表せる曲線の評価値（4.5 参照）を $v(\mathbf{x})$ とすると、 $v(\mathbf{x})$ が最大となる x が曲線の最適形状であるといえる。ゆえに $v(\mathbf{x})$ が最大となる x を探索するのだが、端点を除く (n-1) 個の制御点を画像中で動かすには $2(n-1)$ の自由度があるため、全探索によって最適形状を求めるのは計算コストの面から見て非効率である。そこで、本手法では効率良く探索を行うために、最適化アルゴリズムのひとつである準ニュートン法を用いて最適な x を求める。これにより、探索回数を数回～十数回に抑えている。なお、準ニュートン法におけるヘッセ逆行列の近似計算には、近似精度が優れていると言われている BFGS(Broyden-Fletcher-Goldfarb-Shanno) 法を用いている。

実行例として、インパクト時の背中輪郭を収束させた際の曲線変化の様子と評価値の推移をそれぞれ図 11、図 12 に示す。この場合、12 回の探索で曲線

形状が背中輪郭として相応しい形状に収束していることが分かる。

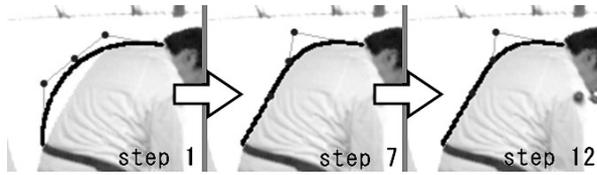


図 11: 曲線の形状変化の様子

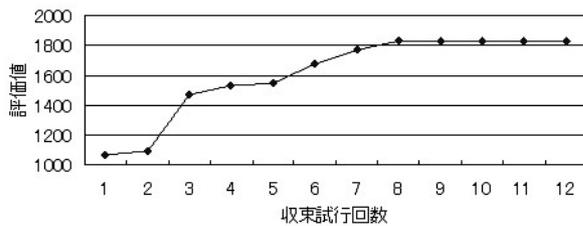


図 12: 評価値の収束の様子

4.5 曲線の評価方法

曲線の輪郭としての妥当性評価は、図 13 に示すように、曲線上のエッジ強度平均 v_{edge} と曲線内側一定領域内における背景差分値平均 v_{in} 、曲線外側一定領域における背景差分値平均 v_{out} によって算出する。曲線の評価値を v とすると、 $v = w_{in}v_{in} + w_{out}v_{out} + w_{edge}v_{edge}$ で与えられる。 $w_{in}, w_{out}, w_{edge}$ は重み係数であり、 w_{in}, w_{edge} にはプラスの値、 w_{out} にはマイナスの値を与える。

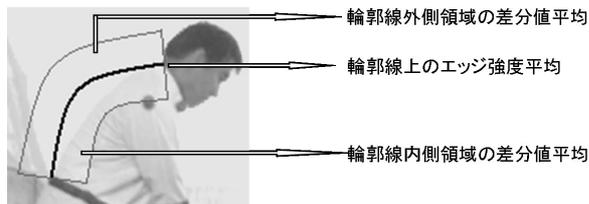


図 13: 輪郭線評価に用いる値

本手法で用いるエッジ強度と背景差分値の求め方について説明する。まず、エッジ強度は、人体以外のエッジ情報を極力除くために式 1 で求めている。 $e(i, j)$ が座標 (i, j) において求めたいエッジ強度、 $e_f(i, j)$ がスイング画像における (i, j) の Sobel エッジ強度、 $e_b(i, j)$ が背景画像における (i, j) の Sobel エッジ強度である。

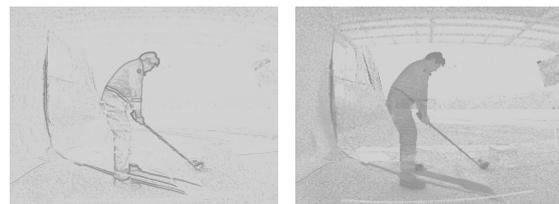
$$e(i, j) = MAX\{e_f(i, j) - e_b(i, j), 0\} \quad (1)$$

また、背景差分値は、白い診断服と背景の白みがかった空を区別するために彩度の低い色同士の差をより敏感に検出すべき点や、人間の直感に沿った明度差異判別を考慮した式 2 によって求めている。 $d(i, j)$ が座標 (i, j) において求めたい背景差分値、 $H_{f_{ij}}, S_{f_{ij}}, V_{f_{ij}}$ がスイング画像における (i, j) の色相、彩度、明度であり、 $H_{b_{ij}}, S_{b_{ij}}, V_{b_{ij}}$ が背景画像における (i, j) の色相、彩度、明度である。

$$d(i, j) = \sqrt{D_X(i, j)^2 + D_Y(i, j)^2 + D_Z(i, j)^2} \quad (2)$$

$$\begin{cases} D_X(i, j) = \log S_{f_{ij}} \cos H_{f_{ij}} - \log S_{b_{ij}} \cos H_{b_{ij}} \\ D_Y(i, j) = \log S_{f_{ij}} \sin H_{f_{ij}} - \log S_{b_{ij}} \sin H_{b_{ij}} \\ D_Z(i, j) = \log V_{f_{ij}} - \log V_{b_{ij}} \end{cases}$$

図 14(a), 14(b) に上述の式で求めたエッジ強度と背景差分値を可視化した例を示す。輝度が低いほどエッジ強度と背景差分値が高いことを示している。



(a) エッジ

(b) 背景差分

図 14: エッジ画像・背景差分画像

4.6 結果

上述の輪郭線抽出処理を、陽射しが強い場合や弱い場合など 12 通りの天候条件下で撮影したスイング画像に対して実行し、診断に必要な輪郭線が十分に得られることを確認した。アドレス時、トップ時、インパクト時の輪郭抽出結果例を図 15, 図 16, 図 17 に示す。

5 まとめと今後の課題

ゴルフスイング自動診断に必要な人体輪郭線情報を、屋外環境下でロバストに抽出する手法を提案し、有効性を確認した。

今後の課題としては、図 18 に示す、トップ時の上半身において求めるべき関節位置等をロバストに求める処理を加えることが挙げられる。これらの特徴



図 15: アドレス時の輪郭抽出結果



図 16: トップ時の輪郭抽出結果



図 17: インパクト時の輪郭抽出結果

を得るためには、やはり両腕や背中の輪郭線情報が重要となるため、今回提案した手法を適用させて両腕と背中の輪郭を求めることを考えている。

その後、診断システムに本手法を組み込んで、様々な天候条件や被験者によるスイング画像で診断の精度を確認していきたい。



図 18: トップ時上半身で抽出すべき特徴

参考文献

- [1] 植田勝彦, 白井良明, 島田伸敬, 大貫正秀, “TV カメラからの映像を用いたゴルフスイング自動診断システム”, 動的画像処理実利用化ワークショップ 2006 講演論文集, pp. 228-232, 2006
- [2] M.Ueda, M.Oomuki, Y.Shirai and N.Shimada, “Automatic Diagnosis System of Golf Swing”, Proc. of The Impact of Technology on Sport 2, pp.271-276, 2007
- [3] 望月智則, 植田勝彦, 島田伸敬, 白井良明, “ゴルフスイング診断のための特徴抽出”, 動的画像処理実利用化ワークショップ 2007 講演論文集, pp.11-16, 2007
- [4] M.Kass, A.Witkin, and D.Terzopoulos, “Snakes: Active contour models”, International Journal of Computer Vision vol.1(4), pp.321-331, 1987

望月智則：平成 18 年立命館大・理工・情報卒。現在，同大学院理工学研究科博士前期課程在学中。

植田勝彦：1999 年 4 月 住友ゴム工業株式会社入社。2002 年からゴルフスイング自動診断システムの開発に従事。現在に至る。

白井良明：昭和 44 年東京大大学院工学系博士課程了。工学博士。同年電子技術総合研究所入所。昭和 63 年 4 月大阪大学工学部教授。平成 17 年 4 月立命館大学情報理工学部教授。IEEE，電子情報通信学会，人工知能学会，日本ロボット学会などの会員。

島田伸敬：平成 7 年大阪大大学院工学研究科博士後期課程了。工学博士。同年同研究科助手。平成 13 年同助教授を経て，平成 16 年より立命館大学情報理工学部助教授。電子情報通信学会，人工知能学会，IEEE 各会員。